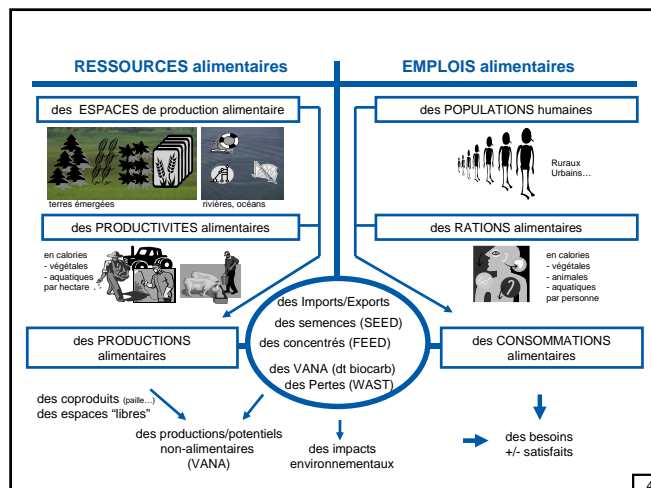


Productions, échanges et usages mondiaux de biomasses alimentaires

La plateforme quantitative Agribiom dans la prospective Agrimonde 2050 (objectifs, architecture, apports)



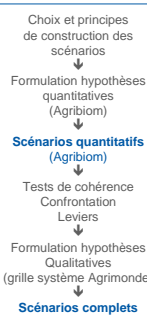
Paris, Académie des Sciences, 20 février 2009
bruno.dorin@cirad.fr



La prospective Agrimonde (rappels introductifs)

- Genèse** : projet Inra-Cirad datant de 2001, inscrit dans le « plan de rapprochement », relancé dans le cadre des dynamiques onusiennes MEA et IAASD, désormais sous tutelle du GIP IFRAI
- Objectifs** : (1) rallier collectivement les débats internationaux portant sur l'avenir des agricultures et alimentations du monde, (2) construire et affirmer une plateforme française pérenne de prospective dans le domaine, (3) identifier des grands enjeux pour la recherche agronomique française
- Un collectif** (2006-2008) :
 - un Comité de Pilotage (Inra-Cirad)
 - une Equipe Projet
 - un Groupe d'Appui composé d'une vingtaine de scientifiques des domaines concernés se réunissant très régulièrement
 - un Groupe d'Experts associant divers ministères ou institutions aux débats/réflexions du Groupe d'appui
- Des scénarios** : des scénarios revisités (scénarios du MEA) ou imaginés (Scénario « Agrimonde » de Révolution Doublement Verte) suivant diverses variables et composantes (environnement global, régulations internationales, dynamique de production, politiques nationales et régionales, AKST...)
- Un module quantitatif** pour aider les débats et simuler des bilans emplois/ressources : Agribiom

La plateforme Agrimonde



3 Les rubriques comptables

- 5 « compartiments » de biomasses alimentaires (seulement...)**
 - VEGETAUX**
 - Céréales : blé, riz, orge, maïs...
 - Saccharifères : canne, betterave...
 - Légumineuses : pois, lentilles...
 - Oléagineux : soja, arachide, coco...
 - Racines : manioc, pdt, igname...
 - Fruits & légumes : pomme, oignon...
 - Stimulants : cacao, café, alcool...
 - RUMINANTS**
 - Viandes : bovins, caprins, ovins...
 - Lait, Beurre, Graisses animales...
 - MONOGASTRIQUES**
 - Viandes : volailles, porc...
 - Œufs...
 - Eaux Douces** (Poissons...)
 - Eaux Marines**
 - Perciformes, Pelagiques... Huiles...
- D'autres productions (non-alim...)**
 - Fibres, Tabac, Caoutchouc, Fourrages, Bois...

1961-2003 : 120 lignes de produits Faostat1 (Commodity Balances)

4 L'unité de compte

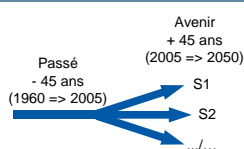
- La CALORIE ALIMENTAIRE** (ou équivalent pour tourteaux, mélasses...)
 - Calories totales = Glucides (4 kcal/g) + Protéines (4 kcal/g) + Lipides (9 kcal/g)
- Tonnes (ou m³) de MS** dans certains cas :
 - Fibres, caoutchouc...
 - Résidus de cultures...
 - Fourrages...
 - Bois (de chauffage ou industriel)

Part I Objectifs et architecture d'Agribiom

Une plateforme quantitative pour la rétro-prospective collective et la modélisation hybride intégrée des productions, échanges et usages globaux de biomasses alimentaires et non-alimentaires

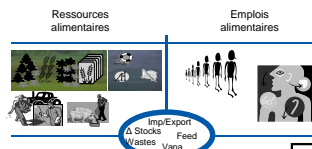
1 L'ambition initiale

- Aider & stimuler des débats sur l'avenir via un outil quantitatif permettant de :
- revisiter ou découvrir des trajectoires passées
 - vérifier la cohérence globale
 - révéler des hypothèses et tester des variantes
 - élaborer des modèles robustes
 - dialoguer avec d'autres modèles (biophysiques, EGC...)

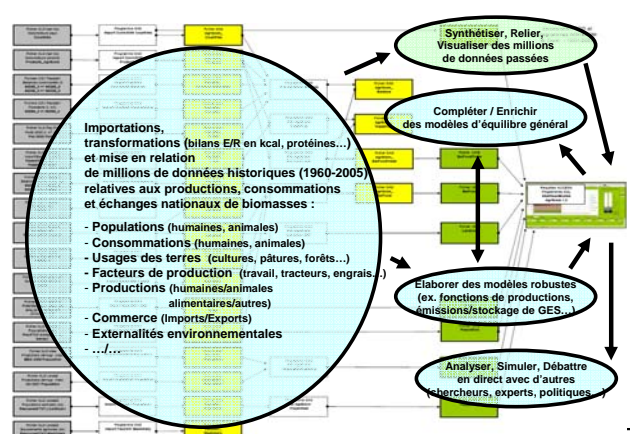


2 Le moteur de l'outil

- Des comptabilités équilibrées (reconstituées ou simulées) de ressources et d'emplois de biomasses alimentaires
- Un équilibre physique (volumes) - à l'échelle globale - aux échelles régionales



5 La convergence vers une interface interactive

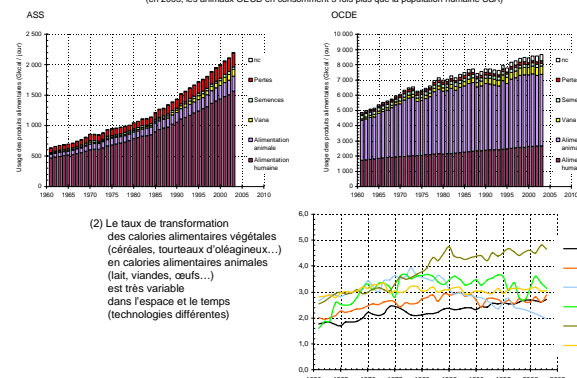


6 Une 1^{ère} série de modèles robustes

Des méta-fonctions de productions animales

Pourquoi ?

- (1) De très grandes quantités de calories alimentaires végétales peuvent être données aux animaux (en 2003, les animaux OECD en consomment 3 fois plus que la population humaine SSA)



7

Fonctions de productions animales choisies pour Agrimonde

Des fonctions :

- **linéaires**
- **régionales** (en l'occurrence pour chacune des 6 régions du MEA : 12 à 40 pays par région selon les cas)
- **sans trend ni dummies** (pour les simulations, les taux de conversion en calories totales sont calés sur les dernières valeurs observées mais peuvent être modifiés suivant les scénarios imaginés : augmentation/diminution des teneurs en protéines du FEED par exemple...)
- **organisées en un système de 2 équations** (productions de protéines de ruminants d'une part, de monogastriques d'autre part)
- **comportant trois facteurs explicatifs** : les protéines apportées sous forme de FEED (végétal et animal) les hectares de pâture le niveau de production du « substitut » (Rumi/Mono selon les cas)

Fonctions régionales génériques des productions RUMI & MONO

$$PROD_RUMI_{i,t} = \sum_{j=1}^n a_{ij}^1 + a_{ij}^2 \sum_{k=1}^m FEED_{k,t} + a_{ij}^3 \sum_{k=1}^m PATURE_{k,t} + \beta^i \sum_{k=1}^m PROD_MONO_{k,t}$$

	OECD	ASIA	LAM	SSA	FSU	MENA
a_{ij}^1 (Intercept)	251 075 226	20 528 325	5 903 807	-2 668 976	42 720 507	19 928 566
a_{ij}^2 (FEED)	0.39	0.17	0.25	0.34	0.26	0.24
a_{ij}^3 (PATURE)	6411	3000	12881	3349	2758	4081
β^i (PROD_MONO)	-1.88	-0.01	-0.23	-0.05	-0.01	-0.87

$$PROD_MONO_{i,t} = \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \sum_{k=1}^m FEED_{k,t} + \delta^i \sum_{k=1}^m PROD_RUMI_{k,t}$$

	OECD	ASIA	LAM	SSA	FSU	MENA
γ_{ij}^1 (Intercept)	-16 343 333	255 377 986	1 749 421	1 091 663	-368 017	12 688 321
γ_{ij}^2 (FEED)	0.15	0.39	0.21	0.19	0.08	0.16
δ^i (PROD_RUMI)	-0.14	-0.53	-0.05	-0.05	-0.01	-0.29

10

Comment ?

Une modélisation via 2 fonctions interdépendantes de productions « agrégées »

- Prod_Rumi (Gkcal) = f (x1,x2, x3..., Prod_Mono)
- Prod_Mono (Gkcal) = f (x1,x2, x3..., Prod_Rumi)

Des facteurs explicatifs (x1, x2, x3...) également « agrégés »

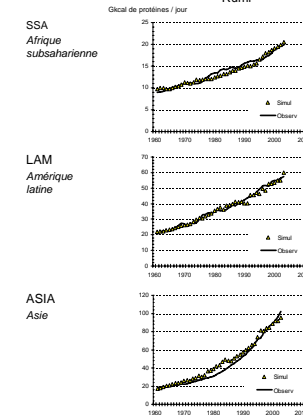
- Produits alimentaires d'origine végétale (Gkcal)
- Produits alimentaires d'origine animale (Gkcal)
- Surfaces en pâture (1 000 ha)
- Population active agricole (1 000 cap)
- Tracteurs (unités)

Plusieurs modèles disponibles :

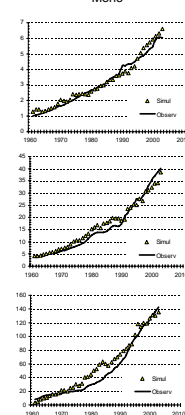
- linéaires / quadratiques
- CalTot / CalPro (unité pour les inputs de Feed, les outputs...)
- avec/sans «Dummies» (région, années)
- avec/sans «Trend» ("progrès technique")
- «Régionaux» (régions MEA) or «Typés» (agricoles/industriels, extensifs/intensifs...)
- .../...

8

Rumi



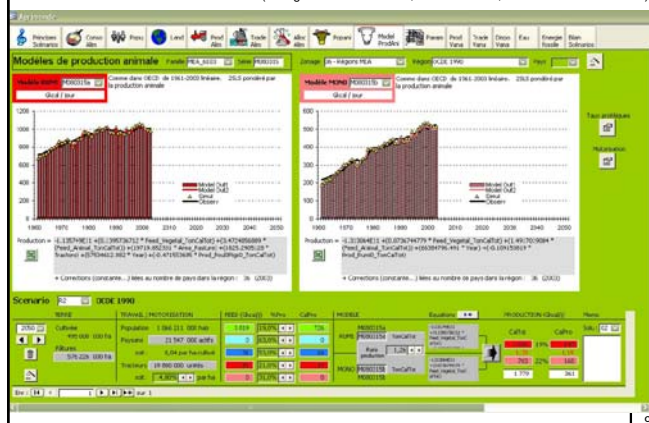
Mono



11

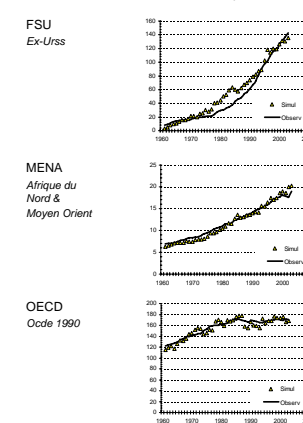
Résultats :

- très bonne reproduction multi-échelle des 40 dernières années de productions animales
- tests et modélisations "en direct" (changements de modèles, de coefficients, de niveaux de facteurs...)

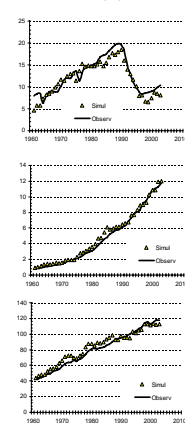


9

Rumi



Mono



12

7 Des équilibres physiques reconstitués ou simulés

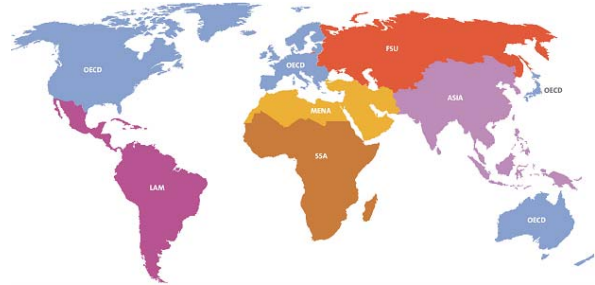


13

2 Des trajectoires régionales disparates

Les 6 régions du MEA

- FSU : Ex-Urss
- LAM : Amérique latine
- MENA : Moyen orient & Afrique du nord
- OECD : Ocde 1990
- SSA : Afrique subsaharienne



Source : d'après MEA (<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.774.aspx.pdf>)

16

Part II

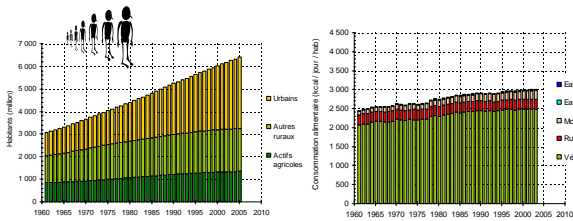
Une brève rétrospective de l'économie alimentaire mondiale (1961-2003)

1 La trajectoire mondiale

Côté emplois :

■ La population humaine double

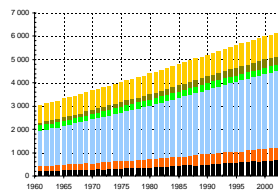
■ Les rations alimentaires s'améliorent...



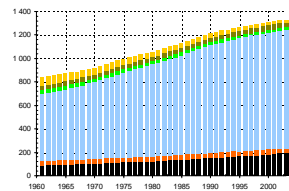
14

Populations humaines

habitants (million)



Actifs agricoles



17

Côté ressources :

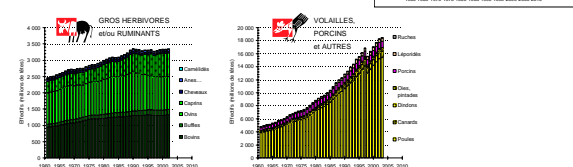
■ La surface agricole ↗

- Cultures : + 13%
- Pâtures : + 11%

■ Les productivités ↗

- Calories végétales / ha cultivé : + 123%
- Calories végétales / actif agricole : + 53%

■ Les cheptels ↗

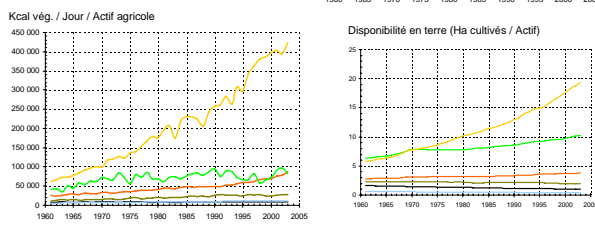


15

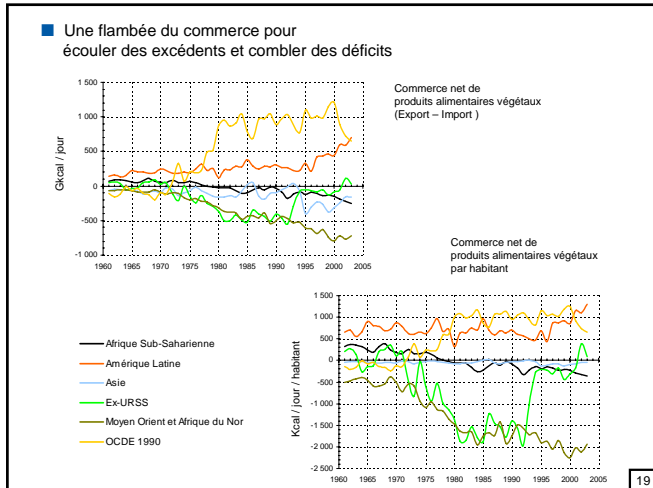
Une productivité record de la terre en ASIE

- Note : 10 000 kcal
- 2,4 kg de soja
 - 2,8 kg de riz
 - 2,9 kg de pois
 - 3,0 kg de blé
 - 15,0 kg de pomme de terre
 - 58,8 kg de tomate

■ Un boom de la productivité du travail en OCDE



18



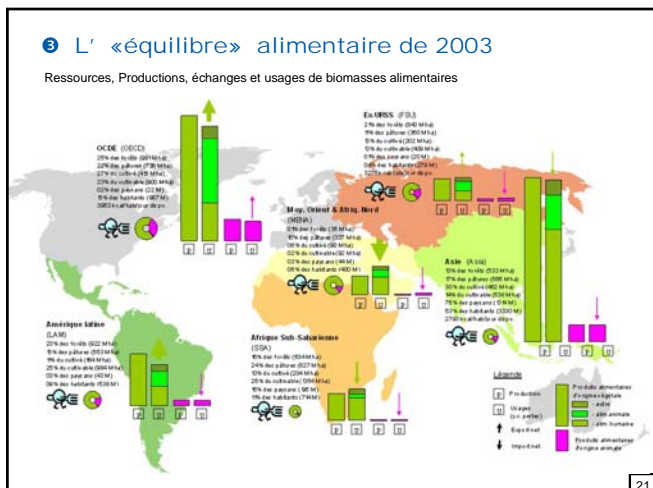
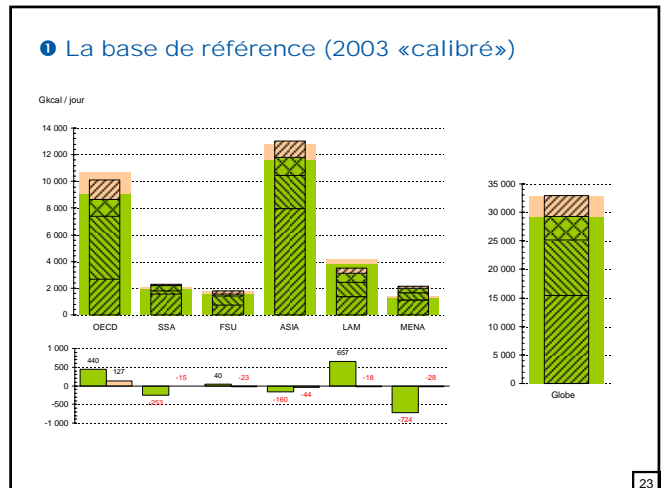
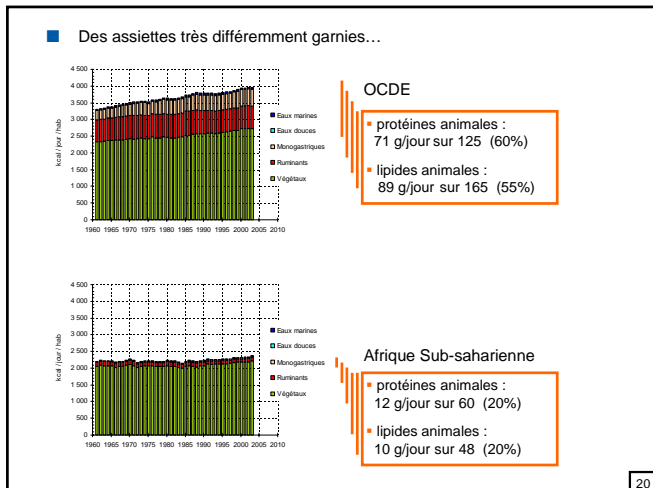
Part III

Des questions et des scénarios à approfondir et débattre

Quel nouvel «équilibre» et quelle «sécurité alimentaire» avec :

- +/- de croissances démographiques (7-11 milliards d'habitants en 2050) ?
- +/- de revenus et migrations de population (opportunités d'autosubsistance / de revenus) ?
- +/- de changements dans les régimes alimentaires (végétaux/animaux, macro/micronutriments...) ?
- +/- de demandes en produits agricoles non-alimentaires (bioénergies, biomatériaux...) ?
- +/- de confiance dans le marché international (approvisionnements en céréales / autres produits vivriers / aliments pour animaux / produits animaux) ?
- +/- de protection d'espaces naturels (forêts en particulier) ?
- +/- de gains en productivités agricoles ? (terre, travail...)
- +/- de chocs graves sur les actuels ressorts de productivités agricoles (énergie fossile, irrigation, phosphates...) ?
- .../...

22

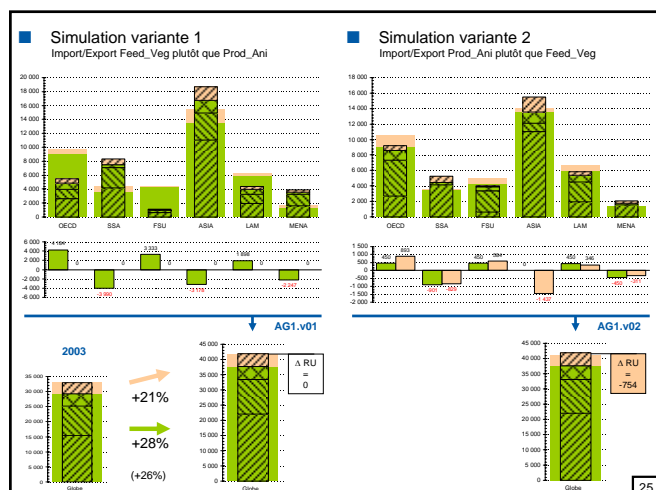


2 Le scénario Agrimonde 1 (AG1)

■ Principales hypothèses

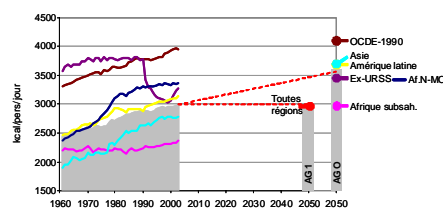
Horizon	2050
Populations	Variante moyenne des projections nationales des Nations Unies (estimations 2007) : - 9 Ghab (+42% par rapport à 2003)
Raisons	Les calories alimentaires disponibles pour l'alimentation s'élèvent à 3000 kcal/jour/hab dans chaque région (moyenne mondiale 2003), dont 2500 d'origine végétale. Répartition des calories d'autres origines : expertise GAA après analyse rétrospective.
Usages (Gcal/j)	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation humaine : populations + raisons - Alimentation animale : <ul style="list-style-type: none"> Feed végétal : déduit du modèle de production animale (cf. infra) Feed animal : montant 2000 en % des usages totaux - Vana : si possible, montant 2000 en % des usages totaux (énoncés) (ré : moyenne mondiale 2003 = 0%) - Pertes : montant 2000 en % des usages totaux, avec borne supérieure de 4% (ré : moyenne mondiale 2003 = 4%) - Semences : montant 2000 en % des usages totaux (ré : moyenne mondiale 2003 = 3%) - Usages non répertoriés : valeur du résidu + 2003 (ré : 777 Gcal/j pour végétaux)
Surfaces (ha)	Expertises GAA après analyses rétro-prospectives interactives
Rendements (kcal/ha/j)	Calories alimentaires végétales terrestres : expertises GAA après analyse rétro-prospectives interactive Calories aquatiques (eaux douces, marines) : adaptation des rendements pour couvrir les niveaux d'usages régionaux
Productions animales (Gcal/j)	<ul style="list-style-type: none"> Modèle choisi pour simuler les productions animales : - Fonctions de production distinguant les produits de ruminants des produits de monogastriques - Famille MEA (E103) : fonctions régionales (régions MEA) établies à partir des données nationales 1961-2003 - Série M080615 : fonctions linéaires réduites à deux facteurs, les concentrés d'origine terrestre (calories alimentaires végétales et animales) et les surfaces en jachère (ha), et un terme de substitution (la production de calories de ruminants dans la fonction de produits monogastriques, et vice-versa) - Unité du modèle : protéines en équivalent calories, la conversion des calories de protéines en calories totales étant ensuite effectuée selon les ratios régionaux 2003 - Résolution simultanée des deux fonctions sans contrainte de rapport de production entre ruminants et monogastriques
Import-Export (Gcal/j)	Préférence politique pour l'autosuffisance alimentaire en produits végétaux et/ou animaux (cf. variantes de simulations) ; lorsque les flux commerciaux doivent être spécifiés (variantes 2), les régions déficitaires s'approvisionnent en quantités égales dans les régions excédentaires.

24



Parmi les éléments de conclusion...

- La production mondiale de biomasses alimentaires végétales pour l'alimentation des hommes dépend fortement du niveau et de la composition des rations (disponibilités/habitant)



28

Le scénario Agrimonde GO (AGO)

Principales hypothèses

Horizon	2050
Populations	Variante moyenne des projections nationales des Nations Unies (estimations 2007) : 9 Ghab (+42% par rapport à 2003)
Rations (kcal/hab/j)	Les calories alimentaires disponibles pour l'alimentation suivent les évolutions relativement + tendancielle + 1961-2003 , qui conservent les inégalités observées au 20ème ainsi que la progression des consommations de produits animaux dans les rations
Usages (Gkcal/j)	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation humaine : populations + rations - Feed végétal : déduit du modèle de production animale (cf. infra) - Feed animal : montant 2000 en % des usages totaux (nb : moyenne mondiale 2003 = 5%) - Vario : si possible, montant 2000 en % des usages totaux (si non moins) (nb : moyenne mondiale 2003 = 5%) - Pertes : montant 2000 en % des usages totaux, avec borne supérieure de 4% (nb : moyenne mondiale 2003 = 4%) - Semences : montant 2000 en % des usages totaux (nb : moyenne mondiale 2003 = 3%) - Usages non répertoriés : valeur du «résidu» 2003 (nb : 777 Gkcal/j pour végétaux)
Surfaces (ha)	<ul style="list-style-type: none"> - SCA : poursuite (relative...) des augmentations 1961-2003, i.e. plus faibles que AG1 - SCA : même ordre de grandeur que AG1 - Plaines et forêts : nettement plus élevées que AG1
Rendements (kcal/ha/j)	<ul style="list-style-type: none"> - Calories alimentaires végétales terrestres : poursuite (relative...) des augmentations 1961-2003, i.e. bien plus élevées que AG1 - Calories alimentaires aquatiques (eaux douces, marines) : adaptation des rendements pour couvrir les niveaux d'usages régionaux
Productions animales (Gkcal/j)	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle choisi pour simuler les productions animales - Fonctions de production distinguant les produits de ruminants des produits de monogastriques - Famille MEA_6103 : fonctions régionales (régions MEA) établies à partir des données nationales 1961-2003 - Série M08015 : fonctions linéaires réduites à deux facteurs, les concentrés d'origine terrestre (calories alimentaires végétales et animales) et les surfaces en pâture (ha), et un terme de substitution la production de calories de ruminants dans la fonction de produits monogastriques, et vice-versa - Unité du modèle : protéines en équivalent calories, la conversion des calories de protéines en calories totales étant ensuite effectuée selon les ratios régionaux 2003 - Résolution simultanée des deux fonctions sans contrainte de rapport de production entre ruminants et monogastriques
Import-Export (Gkcal/j)	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence politique pour l'autosuffisance alimentaire en produits végétaux et/ou animaux (cf. variantes de simulations) : lorsque les flux commerciaux doivent être spécifiés (variantes 2), les régions déficitaires d'approvisionnement en quantités égales dans les régions excédentaires.

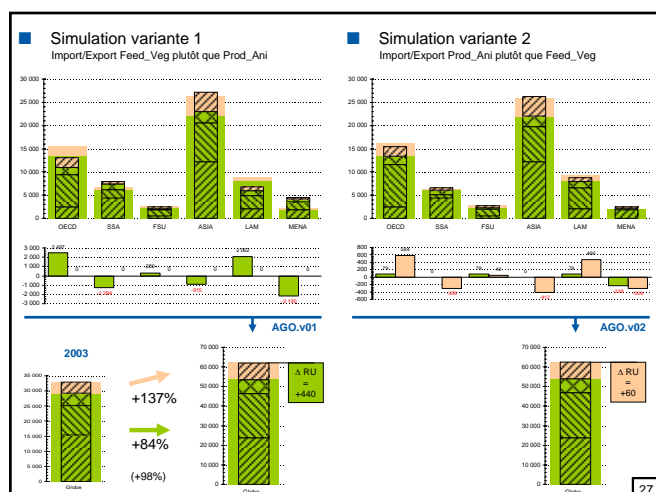
26

- L'avenir des agricultures et alimentations du monde dépend de nombreux autres facteurs...



- Quel nouvel «équilibre» et quelle «sécurité alimentaire» avec
- +/- de **croissances démographiques** (7-11 milliards d'habitants en 2050) ?
 - +/- de **revenus et migrations de population** (opportunités d'autosubsistance / de revenus) ?
 - +/- de **changements dans les régimes alimentaires** (végétaux/animaux, macro/micronutriments...) ?
 - +/- de **demandes en produits agricoles non-alimentaires** (bioénergies, biomatériaux...) ?
 - +/- de **confiance dans le marché international** (approvisionnements en céréales / autres produits vivriers / aliments pour animaux / produits animaux) ?
 - +/- de **protection d'espaces naturels** (forêts en particulier) ?
 - +/- de **gains en productivités agricoles** ? (terre, travail...)
 - +/- de **chocs graves** sur les actuels ressorts de productivités agricoles (énergie fossile, irrigation, phosphates...) ?
 - .../...

29



La plateforme Agribiom

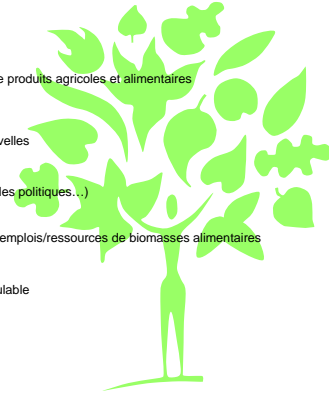
Un outil développé pour :

- (1) Disposer d'un **outil d'analyses rétrospectives** et de **simulations prospectives** suffisamment simple, **englobant, robuste et transparent** pour interpeller et **faire dialoguer une large variété d'expertises**
- (2) **Rassembler et générer un ensemble de données** permettant de **développer des analyses et modélisations nouvelles**, notamment dans des domaines et à des échelles où l'information statistique et la modélisation souffrent d'insuffisances
- (3) Aider à relier la spécificité de grands **modes de production et consommation de biomasses alimentaires** (observées ou simulées) à des **données, modèles ou débats** relatifs :
 - à la sécurité alimentaire
 - à la pauvreté
 - aux demandes en produits agricoles non alimentaires (biocarburants, biomatériaux...)
 - aux développements et échanges économiques entre nations
 - aux prélèvements et prix de ressources minières ou naturelles
 - aux émissions/stockage de gaz à effet de serre
 - à la préservation des services rendus par les écosystèmes
 - .../...

30

Des chantiers +/- avancés

- (1) Réunir, vérifier et relier, sur plusieurs décennies passées, des millions de données relatives aux productions, échanges et usages nationaux de produits agricoles et alimentaires
- (2) Elaborer, avec ces données de base, de nouvelles séries de données permettant des observations et modélisations nouvelles
- (3) Construire une interface permettant d'exposer à un public varié (chercheurs, experts, responsables politiques...) ces données et ces modèles, pour les discuter, puis simuler et débattre des scénarios d'équilibre emplois/ressources de biomasses alimentaires
- (4) Interagir avec d'autres travaux quantitatifs, notamment des modèles d'équilibre général calculable et des modèles biophysiques



31

Merci

